POWERED BY Dialog

SEMICONDUCTOR SUBSTRATE AND THIN-FILM SEMICONDUCTOR MEMBER, AND MANUFACTURE THEREOF

Publication Number: 11-195562 (JP 11195562 A) , July 21, 1999

Inventors:
- INAKANAKA HIROSHI

Applicants

- SONY CORP

Application Number: 09-360429 (JP 97360429) , December 26, 1997

International Class:

- H01L-021/02
- H01L-021/3063
- H01L-031/04

Abstract:
PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a semiconductor substrate, which has a reduced strain in a porous layer and can be readily separated at the porous layer, a thin-film semiconductor member having superior crystallinity, and methods for manufacturing them. SOLUTION: A substrate thin film 13 is formed on a substrate body 11 via a porous layer 12 consisting of a semiconductor. The semiconductor thin film 13 is separated from the porous layer 12 for use as a thin-film semiconductor member. The porous layer 12 has an impurity concentration which is changed along a direction of its thickness, or has an impurity concentration of 1×1018 cm-3 or more. Accordingly, if a current density is reduced at the time of forming the porous layer 12 through anodic conversion, the porosity of the, porous layer 12 can be changed in the thickness direction. Consequently, the strain of the porous layer 12 can be reduced, separation at the porous layer 12 can be readily achieved, and the crystallinity of the semiconductor thin film 13 can be improved. COPYRIGHT: (C)1999,JPO

JAPIO
© 2005 Japan Patent Information Organization. All rights reserved.
Dialog® File Number 347 Accession Number 6253983

(19)日本国特許庁（ＪＰ）　(12) **公開特許公報**（Ａ）　(11)特許出願公開番号

特開平11－195562

(43)公開日　平成11年(1999)７月21日

(51)Int.Cl.6	識別記号	ＦＩ		
Ｈ０１Ｌ　21/02		Ｈ０１Ｌ　21/02		Ｂ
21/3063		21/306		Ｌ
31/04		31/04		Ｈ

審査請求　未請求　請求項の数33　ＯＬ　（全 16 頁）

(21)出願番号　特願平９－360429

(22)出願日　平成９年(1997)12月26日

(71)出願人　000002185
ソニー株式会社
東京都品川区北品川６丁目７番35号

(72)発明者　田舎中　博士
東京都品川区北品川６丁目７番35号　ソニー株式会社内

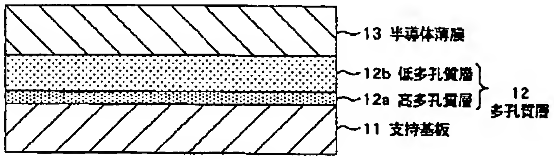
(74)代理人　弁理士　藤島　洋一郎

(54)【発明の名称】　半導体基板および薄膜半導体部材ならびにそれらの製造方法

(57)【要約】

【課題】　多孔質層における歪みが少なく多孔質層において容易に分離することができる半導体基板および優れた結晶性を有する薄膜半導体部材ならびにそれらの製造方法を提供する。

【解決手段】　基板本体１１の上に半導体よりなる多孔質層１２を介して半導体薄膜１３が形成される。半導体薄膜１３は多孔質層１２から分離され薄膜半導体部材として用いられる。多孔質層１２は厚さ方向において不純物濃度が変化しているかあるいは不純物濃度が１×１０^{18}ｃｍ$^{-3}$以上となっている。よって、多孔質層１２を陽極化成により形成する際に電流密度を小さくしても、多孔質層１２の多孔率を厚さ方向において変化させることができる。従って、多孔質層１２の歪みを少なくできると共に多孔質層１２において容易に分離することができ、半導体薄膜１３の結晶性も向上させることができる。



【特許請求の範囲】

【請求項１】　多孔質の半導体よりなり、厚さ方向において不純物濃度に変化を有する多孔質層を備えたことを特徴とする半導体基板。

【請求項２】　前記多孔質層は、シリコンおよびゲルマニウムの少なくとも一方を含む半導体、あるいはガリウムと砒素とを含む半導体、あるいはガリウムと燐とを含む半導体あるいはガリウムと窒素とを含む半導体のいずれかにより構成されたことを特徴とする請求項１記載の半導体基板。

【請求項３】　前記多孔質層は、不純物濃度が異なる２以上の層を有することを特徴とする請求項１記載の半導体基板。

【請求項４】　前記多孔質層は支持基板の一面側に形成されると共に、不純物濃度が低く多孔率が高い高多孔質層と、不純物濃度が高く多孔率が低い低多孔質層とを有しており、高多孔質層は低多孔質層の少なくとも一部よりも支持基板寄りに位置することを特徴とする請求項３記載の半導体基板。

【請求項５】　前記支持基板および前記多孔質層はｐ型不純物を含むｐ型のシリコンによりそれぞれ構成されると共に、前記多孔質層のうち前記低多孔質層のｐ型不純物濃度は$1\times10^{19}cm^{-3}$以上であり前記高多孔質層のｐ型不純物濃度は$1\times10^{19}cm^{-3}$よりも低いことを特徴とする請求項４記載の半導体基板。

【請求項６】　更に、前記多孔質層の一面側に半導体薄膜を備えたことを特徴とする請求項１記載の半導体基板。

【請求項７】　前記半導体薄膜は、シリコンおよびゲルマニウムの少なくとも一方を含む半導体、あるいはガリウムと砒素とを含む半導体、あるいはガリウムと燐とを含む半導体あるいはガリウムと窒素とを含む半導体のいずれかにより構成されたことを特徴とする請求項６記載の半導体基板。

【請求項８】　前記半導体薄膜は単結晶により構成されたことを特徴とする請求項６記載の半導体基板。

【請求項９】　前記多孔質層は、凹凸を有することを特徴とする請求項１記載の半導体基板。

【請求項１０】　$1\times10^{18}cm^{-3}$以上の不純物を含む多孔質の半導体よりなる多孔質層を備えたことを特徴とする半導体基板。

【請求項１１】　エピタキシャル成長した成長層が多孔質化された多孔質層を備えたことを特徴とする半導体基板。

【請求項１２】　多孔質の半導体により構成され厚さ方向において不純物濃度に変化を有する多孔質層を介して支持基板の一面側に形成されると共に、この支持基板とは前記多孔質層において分離されてなることを特徴とする薄膜半導体部材。

【請求項１３】　シリコンおよびゲルマニウムの少なくとも一方を含む半導体、あるいはガリウムと砒素とを含む半導体、あるいはガリウムと燐とを含む半導体あるいはガリウムと窒素とを含む半導体のいずれかにより構成されたことを特徴とする請求項１２記載の薄膜半導体部材。

【請求項１４】　単結晶により構成されたことを特徴とする請求項１２記載の半導体基板。

【請求項１５】　凹凸を有することを特徴とする請求項１２記載の薄膜半導体部材。

【請求項１６】　$1\times10^{18}cm^{-3}$以上の不純物を含む多孔質の半導体よりなる多孔質層を介して支持基板の一面側に形成されると共に、この支持基板とは前記多孔質層において分離されてなることを特徴とする薄膜半導体部材。

【請求項１７】　エピタキシャル成長した成長層が多孔質化された多孔質層を介して支持基板の一面側に形成されると共に、この支持基板とは前記多孔質層において分離されてなることを特徴とする薄膜半導体部材。

【請求項１８】　支持基板の一面側に、半導体よりなり厚さ方向において不純物濃度に変化を有する不純物濃度変化層を形成する不純物濃度変化層形成工程と、
支持基板に形成した不純物濃度変化層を陽極化成により多孔質化し、厚さ方向において多孔率に変化を有する多孔質層を形成する多孔質層形成工程とを含むことを特徴とする半導体基板の製造方法。

【請求項１９】　前記不純物濃度変化層形成工程では、不純物濃度が異なる２以上の層を有する不純物濃度変化層を形成すると共に、前記多孔質層形成工程では、多孔率が異なる２以上の層を有する多孔質層を形成することを特徴とする請求項１８記載の半導体基板の製造方法。

【請求項２０】　前記不純物濃度変化層形成工程では、支持基板の一面側に不純物濃度が異なる２以上の層を順次成長させることを特徴とする請求項１９記載の半導体基板の製造方法。

【請求項２１】　前記不純物濃度変化層形成工程では、支持基板の一面側に成長層を成長させたのち、この成長層に不純物を拡散することにより不純物濃度が異なる２以上の層を形成することを特徴とする請求項１９記載の半導体基板の製造方法。

【請求項２２】　前記不純物濃度変化層形成工程では、不純物濃度変化層をシリコンおよびゲルマニウムの少なくとも一方を含む半導体、あるいはガリウムと砒素とを含む半導体、あるいはガリウムと燐とを含む半導体あるいはガリウムと窒素とを含む半導体のいずれかにより形成することを特徴とする請求項１８記載の半導体基板の製造方法。

【請求項２３】　前記不純物濃度変化層形成工程では、低濃度の不純物を含む半導体よりなる低濃度層と、この低濃度層の支持基板と反対側に高濃度の不純物を含む半導体よりなる高濃度層とを形成することを特徴とする請

求項１８記載の半導体基板の製造方法。

【請求項２４】　前記不純物濃度変化層形成工程では、支持基板および不純物濃度変化層をｐ型不純物を含むｐ型のシリコンによりそれぞれ形成すると共に、不純物濃度変化層のうち低濃度層にはｐ型不純物を$1\times10^{19}cm^{-3}$よりも低い濃度で添加し、高濃度層にはｐ型不純物を$1\times10^{19}cm^{-3}$以上の濃度で添加することを特徴とする請求項２３記載の半導体基板の製造方法。

【請求項２５】　前記不純物濃度変化層形成工程では、一面側に凹凸を有する支持基板を用いることを特徴とする請求項１８記載の半導体基板の製造方法。

【請求項２６】　更に、多孔質層の支持基板と反対側に半導体薄膜を形成する半導体薄膜形成工程を含むことを特徴とする請求項１８記載の半導体基板の製造方法。

【請求項２７】　前記半導体薄膜形成工程では、半導体薄膜をエピタキシャル成長させた単結晶により形成することを特徴とする請求項２６記載の半導体基板の製造方法。

【請求項２８】　前記半導体薄膜形成工程では、半導体薄膜を、シリコンおよびゲルマニウムの少なくとも一方を含む半導体、あるいはガリウムと砒素とを含む半導体、あるいはガリウムと燐とを含む半導体あるいはガリウムと窒素とを含む半導体のいずれかにより形成することを特徴とする請求項２６記載の半導体基板の製造方法。

【請求項２９】　更に、多孔質層を加熱し再結晶化させる加熱工程を含むことを特徴とする請求項１８記載の半導体基板の製造方法。

【請求項３０】　支持基板の一面側に、$1\times10^{18}cm^{-3}$以上の不純物を含む半導体よりなる不純物高含有層を形成する不純物高含有層形成工程と、

支持基板に形成した不純物高含有層を陽極化成により多孔質化し、厚さ方向において多孔率に変化を有する多孔質層を形成する多孔質層形成工程とを含むことを特徴とする半導体基板の製造方法。

【請求項３１】　前記不純物高含有層形成工程では、不純物高含有層をエピタキシャル成長させることを特徴とする請求項３０記載の半導体基板の製造方法。

【請求項３２】　支持基板の一面側に、半導体よりなり厚さ方向において不純物濃度に変化を有する不純物濃度変化層を形成する不純物濃度変化層形成工程と、

支持基板に形成した不純物濃度変化層を陽極化成により多孔質化し、厚さ方向において多孔率に変化を有する多孔質層を形成する多孔質層形成工程と多孔質層の支持基板と反対側に半導体薄膜を形成する半導体薄膜形成工程と、

半導体薄膜を多孔質層において支持基板から分離する分離工程とを含むことを特徴とする薄膜半導体部材の製造方法。

【請求項３３】　支持基板の一面側に、$1\times10^{18}cm^{-3}$以上の不純物を含む半導体よりなる不純物高含有層を形成する不純物高含有層形成工程と、

支持基板に形成した不純物高含有層を陽極化成により多孔質化し、厚さ方向において多孔率に変化を有する多孔質層を形成する多孔質層形成工程と多孔質層の支持基板と反対側に半導体薄膜を形成する半導体薄膜形成工程と、

半導体薄膜を多孔質層において支持基板から分離する分離工程とを含むことを特徴とする薄膜半導体部材の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【発明の属する技術分野】本発明は、多孔質層を有する半導体基板およびそれを用いて形成された薄膜半導体部材ならびにそれらの製造方法に関する。

【０００２】

【従来の技術】太陽電池などの分野においては、例えば、単結晶のインゴットを切断したシリコン（Ｓｉ）よりなる支持基板の上に多孔質層を介してシリコンの薄膜を形成したのち、この薄膜を多孔質層において基板から剥離して用いる研究が進められている。

【０００３】

【発明が解決しようとする課題】その際、薄膜を支持基板から容易に剥離するには、多孔質層を多孔率が異なる２以上の層により構成することが好ましい。このような多孔質層は、例えば、支持基板の表面を電流密度を変化させて陽極化成することにより形成することができる。なお、この陽極化成というのは、支持基板を陽極としてフッ化水素（ＨＦ）を含む電解液で通電を行うものである。具体的には、例えば、電界液として５０％のフッ化水素水溶液とエチルアルコール（C_2H_5OH）とを１：１の体積割合で混合した混合液を用いて、$1mAcm^{-2}$の電流密度で８分間、$7mAcm^{-2}$の電流密度で８分間、$200mAcm^{-2}$の電流密度で４秒間の陽極化成を順次行うことにより、多孔率が低い低多孔質層の間に多孔率が高い高多孔質層を形成することができる。

【０００４】しかしながら、このようにインゴットを切断した支持基板の表面に電流密度を変化させた陽極化成により高多孔質層と低多孔質層とを形成すると、高多孔質層を形成するために電流密度を大きくする必要があった。そのため、多孔質層内に歪みが発生しやすく、その上に形成する薄膜の結晶性を向上させることができないという問題があった。また、電流密度を大きくすると、基板の面内において電流密度の分布が不均一となってしまうので、多孔質層内において高多孔質層がまだらに形成されてしまい、薄膜を容易に剥離できる部分と容易には剥離できない部分とが生じてしまうという問題もあった。更に、大きな電流密度で電流を流すには容量の大きな電流電源が必要であるという問題もあった。

【０００５】本発明はかかる問題点に鑑みてなされたも

ので、その第１の目的は、陽極化成における電流密度を小さくすることにより、多孔質層における歪みが少なく多孔質層において容易に分離することができる半導体基板を提供することにある。

【０００６】また、第２の目的は、優れた結晶性を有する薄膜半導体部材を提供することにある。

【０００７】更に、第３の目的は、多孔質層を形成する際の陽極化成における電流密度を小さくすることができる半導体基板および薄膜半導体部材の製造方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【０００８】本発明による半導体基板は、多孔質の半導体よりなり厚さ方向において不純物濃度に変化を有する多孔質層を備えたものである。

【０００９】本発明による他の半導体基板は、１×１０^{18}ｃｍ$^{-3}$以上の不純物を含む多孔質の半導体よりなる多孔質層を備えたものである。

【００１０】本発明によるその他の半導体基板は、エピタキシャル成長した成長層が多孔質化された多孔質層を備えたものである。

【００１１】本発明による薄膜半導体部材は、多孔質の半導体よりなり厚さ方向において不純物濃度に変化を有する多孔質層を介して支持基板の一面側に形成されると共に、この支持基板とは前記多孔質層において分離されてなるものである。

【００１２】本発明による他の薄膜半導体部材は、１×１０^{18}ｃｍ$^{-3}$以上の不純物を含む多孔質の半導体よりなる多孔質層を介して支持基板の一面側に形成されると共に、この支持基板とは前記多孔質層において分離されてなるものである。

【００１３】本発明によるその他の薄膜半導体部材は、エピタキシャル成長した成長層が多孔質化された多孔質層を介して支持基板の一面側に形成されると共に、この支持基板とは前記多孔質層において分離されてなるものである。

【００１４】本発明による半導体基板の製造方法は、支持基板の一面側に、半導体よりなり厚さ方向において不純物濃度に変化を有する不純物濃度変化層を形成する不純物濃度変化層形成工程と、支持基板に形成した不純物濃度変化層を陽極化成により多孔質化し、厚さ方向において多孔率に変化を有する多孔質層を形成する多孔質層形成工程とを含むものである。

【００１５】本発明による他の半導体基板の製造方法は、支持基板の一面側に、１×１０^{18}ｃｍ$^{-3}$以上の不純物を含む半導体よりなる不純物高含有層を形成する不純物高含有層形成工程と、支持基板に形成した不純物高含有層を陽極化成により多孔質化し多孔質層を形成する多孔質層形成工程とを含むものである。

【００１６】本発明による薄膜半導体部材の製造方法は、支持基板の一面側に、半導体よりなり厚さ方向において不純物濃度に変化を有する不純物濃度変化層を形成する不純物濃度変化層形成工程と、支持基板に形成した不純物濃度変化層を陽極化成により多孔質化し、厚さ方向において多孔率に変化を有する多孔質層を形成する多孔質層形成工程と、多孔質層の支持基板と反対側に半導体薄膜を形成する半導体薄膜形成工程と、半導体薄膜を多孔質層において支持基板から分離する工程とを含むものである。

【００１７】本発明による他の薄膜半導体部材の製造方法は、支持基板の一面側に、１×１０^{18}ｃｍ$^{-3}$以上の不純物を含む半導体よりなる不純物高含有層を形成する不純物高含有層形成工程と、支持基板に形成した不純物高含有層を陽極化成により多孔質化し多孔質層を形成する多孔質層形成工程と、多孔質層の支持基板と反対側に半導体薄膜を形成する半導体薄膜形成工程と、半導体薄膜を多孔質層において支持基板から分離する工程とを含むものである。

【００１８】本発明による半導体基板では、多孔質層における不純物濃度が厚さ方向において変化しており、多孔率もこの不純物濃度の変化に応じて変化している。例えば、小さい電流密度の陽極化成により形成され、多孔質層における歪みは少なくなっている。

【００１９】本発明による他の半導体基板では、多孔質層における不純物濃度が１×１０^{18}ｃｍ$^{-3}$以上となっている。よって、例えば、陽極化成により多孔質化する際に電流密度を小さくでき、多孔質層における歪みが少なくなる。

【００２０】本発明によるその他の半導体基板では、多孔質層がエピタキシャル成長された成長層により構成されている。よって、表面と平行な方向における多孔率を容易に均一とすることができ、または多孔質層を不純物濃度が高い半導体により構成することができる。

【００２１】本発明による薄膜半導体部材では、厚さ方向における不純物濃度に変化を有する多孔質層を介して形成されている。この多孔質層は、不純物濃度の変化に応じて多孔率も変化しており、例えば、小さい電流密度の陽極化成により形成され、歪みが少なくい。よって、薄膜半導体部材の結晶性も高くなっている。

【００２２】本発明による他の薄膜半導体部材では、１×１０^{18}ｃｍ$^{-3}$以上の不純物を含む多孔質層を介して形成されている。この多孔質層は、例えば、小さい電流密度の陽極化成により形成され、歪みが少なくい。よって、薄膜半導体部材の結晶性も高くなっている。

【００２３】本発明による他の薄膜半導体部材では、エピタキシャル成長により得られた多孔質層を介して形成されている。この多孔質層は、表面と平行な方向における多孔率が容易に均一とされ、または不純物濃度の高い半導体により容易に構成される。

【００２４】本発明による半導体基板の製造方法では、まず、支持基板の一面側に、厚さ方向において不純物濃

度に変化を有する不純物濃度変化層が形成される。次いで、陽極化成によりこの不純物濃度変化層が厚さ方向において多孔率に変化を有する多孔質層とされる。

【００２５】本発明による他の半導体基板の製造方法では、まず、支持基板の一面側に$1\times10^{18}cm^{-3}$以上の不純物を含む半導体よりなる不純物高含有層が形成される。次いで、陽極化成によりこの不純物高含有層が多孔質層とされる。

【００２６】本発明による薄膜半導体部材の製造方法では、まず、支持基板の一面側に、厚さ方向において不純物濃度に変化を有する不純物濃度変化層が形成される。次いで、陽極化成によりこの不純物濃度変化層が厚さ方向において多孔率に変化を有する多孔質層とされる。続いて、半導体薄膜が形成され、多孔質層において支持基板から分離される。

【００２７】本発明による他の薄膜半導体部材の製造方法では、まず、支持基板の一面側に$1\times10^{18}cm^{-3}$以上の不純物を含む半導体よりなる不純物高含有層が形成される。次いで、陽極化成によりこの不純物高含有層が多孔質層とされる。続いて、半導体薄膜が形成され、多孔質層において支持基板から分離される。

【００２８】

【実施の形態】以下、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。なお、以下の実施の形態においては、半導体基板と共に薄膜半導体部材についても合わせて説明する。

【００２９】図１は本発明の一実施の形態に係る半導体基板の構成を表すものである。この半導体基板は、支持基板１１の一面側に多孔質層１２を介して半導体薄膜１３が形成されている。支持基板１１，多孔質層１２および半導体薄膜１３は、シリコンおよびゲルマニウム（Ｇｅ）の少なくとも一方を含む半導体、あるいはガリウム（Ｇａ）と砒素（Ａｓ）とを含む半導体、あるいはガリウムと燐（Ｐ）とを含む半導体、あるいはガリウムと窒素（Ｎ）とを含む半導体などによりそれぞれ構成されている。それらを構成する半導体は互いに同一であっても異なっていてもよい。また、それらを構成する半導体はｐ型不純物を添加したｐ型半導体でもｎ型不純物を添加したｎ型半導体でも不純物を添加していないものでもよく、単結晶でも多結晶でもよい。

【００３０】但し、後述するように多孔質層１２を陽極化成により形成する場合には、支持基板１１および多孔質層１２をｐ型半導体により構成することが好ましい。また、支持基板１１については、その表面に半導体よりなる多孔質層１２を形成することができれば、サファイアなどの半導体以外の材料により構成してもよい。更に、この半導体基板は、半導体薄膜１３を単結晶により構成する場合に特に有効である。半導体薄膜１３を多結晶により構成する場合には、種々の基板（例えば後述する接着基板１５（図５参照））の上に直接形成することが容易にできるが、単結晶により構成する場合にはそれが困難であり、この半導体基板によれば容易に優れた結晶性を有する単結晶の半導体薄膜１３を得ることができるからである。

【００３１】なお、支持基板１１，多孔質層１２および半導体薄膜１３は、図１に示したように、表面がそれぞれ平坦面となっていてもよいが、図２に示したように、支持基板１１の表面が凹凸を有するように構成され、その凹凸面上に形成された多孔質層１２および半導体薄膜１３もそれぞれ凹凸を有するように構成されてもよい。このように半導体薄膜１３を凹凸形状に構成すれば、この半導体薄膜１３を薄膜半導体部材として例えば太陽電池に用いる場合に太陽電池の発電効率を高めることができるので好ましい。

【００３２】多孔質層１２は、多孔率が異なる複数の層（ここでは高多孔質層１２ａおよび低多孔質層１２ｂ）により構成されている。すなわち、多孔質層１２は、厚さ方向（支持基板１１の表面と垂直な方向）において多孔率に変化を有している。多孔質層１２のうち支持基板１１側（内部側）は多孔率が高い高多孔質層１２ａとなっており、支持基板１１の反対側（表面側）は多孔率が低い低多孔質層１２ｂとなっている。

【００３３】このうち高多孔質層１２ａは、半導体薄膜１３を支持基板１１と分離するためのものであって、それらを容易に分離することができるように多孔率は４０～７０％程度であることが好ましい。低多孔質層１２ｂは、その表面に優れた結晶性を有する半導体薄膜１３を形成することができるように、高多孔質層１２ａよりも多孔率が低くなっている。

【００３４】これら高多孔質層１２ａおよび低多孔質層１２ｂは、多孔率と共に不純物濃度も異なっており、高多孔質層１２ａの不純物濃度は低く、低多孔質層１２ｂの不純物濃度は高くなっている。すなわち、多孔質層１２は、厚さ方向において不純物濃度に変化を有している。このように、高多孔質層１２ａと低多孔質層１２ｂとの不純物濃度が異なっているのは、後述するようにこの多孔質層１２を陽極化成により形成する際に不純物濃度に応じて多孔率を制御するためである。例えば、支持基板１１および多孔質層１２がｐ型不純物として例えばボロン（Ｂ）を添加したｐ型のシリコンによりそれぞれ構成される場合には、高多孔質層１２ａの不純物濃度は$1\times10^{19}cm^{-3}$よりも小さく、低多孔質層１２ｂの不純物濃度は$1\times10^{19}cm^{-3}$以上であることが好ましい。ちなみに、高多孔質層１２ａおよび低多孔質層１２ｂは、厚さ方向における不純物濃度がそれぞれ均一であってもよいが、変化を有するように構成されていてもよい。

【００３５】これら高多孔質層１２ａおよび低多孔質層１２ｂは、また、異なった不純物濃度を有する代わりに、不純物濃度が同一で、$1\times10^{18}cm^{-3}$以上（好ま

しくは１×１０^{19}ｃｍ$^{-3}$以上）の不純物をそれぞれ有するように構成されてもよい。不純物濃度を高くすれば抵抗が低くなるので、後述するように多孔質層１２を陽極化成により形成する際に電流密度の変化量を大きくしなくても高多孔質層１２ａと低多孔質層１２ｂとをを形成することができるからである。

【００３６】多孔質層１２は、また、例えば、エピタキシャル成長させた成長層を多孔質化することにより形成されたものであることが好ましい。不純物濃度を容易に高くすることができると共に、支持基板１１の表面と平行な面（以下、表面平行面という）内における不純物濃度を容易に均一とすることができ、多孔率も容易に均一とすることができるからである。なお、多孔質層１２は、支持基板１１の表面全体に対して形成されていてもよいが、図３に示した平面図において網かけで示したように、支持基板１１の表面の一部に対して形成されていてもよい。

【００３７】また、図１においては、高多孔質層１２ａは低多孔質層１２ｂの支持基板１１側に位置し、低多孔質層１２ｂは高多孔質層１２ａの半導体薄膜側に位置する場合について示したが、高多孔質層１２ａは低多孔質層１２ｂの少なくとも一部よりも支持基板１１寄りに位置していればよい。例えば、図４に示したように、低多孔質層１２ｂに挟まれていてもよい。この場合、高多孔質層１２ａの両側（支持基板１１側および半導体薄膜１３側）の低多孔質層１２ｂは、不純物濃度および多孔率が異なっていてもよい。

【００３８】このような半導体基板は、例えば、図５に示したように、半導体薄膜１３の表面に接着層１４を介して接着基板１５を張り付け、高多孔質層１２ａにおいて半導体薄膜１３を支持基板１１から分離して用いられる。この分離された半導体薄膜１３は本実施の形態に係る薄膜半導体部材に該当し、接着基板１５の上に形成された薄膜半導体部材として太陽電池などに用いられる。接着層１４は、例えば、高多孔質層１２ａの強度よりも接着強度が強い光硬化性の樹脂接着剤により構成される。接着基板１５は、例えば、光を透過するポリエチレンテレフタレート（ＰＥＴ）などの透明樹脂やガラスにより構成される。なお、支持基板１１は、表面の多孔質層１２が除去されたのち、再び支持基板１１として用いられる。

【００３９】このような構成を有する半導体基板および薄膜半導体部材は次のように製造することができる。

【００４０】図６はその各製造工程を表すものである。まず、図６（ａ）に示したように、適宜の半導体よりなるあるいは表面に適宜の半導体の層を形成することができるサファイアなどの適宜の材料よりなる支持基板１１を用意する。なお、支持基板１１には、図２に示したような凹凸を有するものを用いてもよい。

【００４１】次いで、同じく図６（ａ）に示したように、この支持基板１１の一面側に、厚さ方向において不純物濃度に変化を有する半導体よりなる不純物濃度変化層２１を形成する（不純物濃度変化層形成工程）。具体的には、不純物濃度変化層２１として不純物濃度が異なる複数の層（ここでは低濃度層２１ａおよび高濃度層２１ｂ）を形成する。この不純物濃度変化層２１は後に多孔質層１２となるものであり、その不純物濃度は形成したい多孔質層１２の多孔率に応じて適宜決定する。すなわち、低濃度層２１ａの不純物濃度は高多孔質層１２ａの多孔率に応じて決定し、高濃度層２１ｂの不純物濃度は低多孔質層１２ｂの多孔率に応じて決定する。例えば、支持基板１１および不純物濃度変化層２１をそれぞれｐ型不純物としてボロンを添加したｐ型のシリコンにより形成する場合には、低濃度層２１ａの不純物濃度は１×１０^{19}ｃｍ$^{-3}$よりも小さく、低多孔質層１２ｂの不純物濃度は１×１０^{19}ｃｍ$^{-3}$以上とすることが好ましい。

【００４２】不純物濃度変化層の形成に際しては、図７（ａ）（ｂ）に示したように、支持基板１１の一面側に、ＣＶＤ（Chemical Vapor Deposition ）法などにより成長層として低濃度層２１ａをエピタキシャル成長させたのち、その表面に、同じくＣＶＤ法などにより成長層として高濃度層２１ｂをエピタキシャル成長させてもよい。また、図８（ａ）（ｂ）に示したように、支持基板１１の一面側に、ＣＶＤ（Chemical Vapor Deposition ）法などにより成長層として低濃度層２１ａをエピタキシャル成長させたのち、その表面に不純物を拡散することにより拡散層として高濃度層２１ｂを形成してもよい。更に、図示はしないが、支持基板１１の一面側に、不純物を拡散することにより拡散層として低濃度層２１ａと高濃度層２１ｂとを形成するようにしてもよい。

【００４３】但し、低濃度層２１ａを形成する際には拡散よりもエピタキシャル成長させる方が好ましい。表面平行面内における不純物濃度を均一とすることができ、高多孔質層１２ａの表面平行面内における多孔率を均一とすることができるからである。

【００４４】なお、不純物濃度変化層の形成においては、支持基板１１と反対側の表面が高濃度層２１ｂとなるように不純物濃度が異なる複数の層を形成すればよく、図６に示した場合のみならず、例えば図９に示したように、支持基板１１の一面側に、高濃度層２１ｂ，低濃度層２１ａおよび高濃度層２１ｂを支持基板側から順次形成するようにしてもよい。また、図１０に示したように、支持基板１１がｐ型の半導体により形成されている場合など、支持基板１１の一部をそのまま低濃度層２１ａとみなし、その一面側に高濃度層２１ｂを形成することにより、不純物濃度変化層としてもよい。

【００４５】このようにして不純物濃度変化層２１を形成したのち、図６（ｂ）に示したように、陽極化成を行って不純物濃度変化層２１を多孔質化し、多孔質層１２

を形成する（多孔質層形成工程）。例えば、図１１に示したように、不純物濃度変化層２１を形成した支持基板１１を２つの電解液槽３１，３２の間に配置すると共に、各電解液槽３１，３２の中に直流電源３３と接続された白金電極３４，３５をそれぞれ配置し、支持基板１１を陽極、白金電極３４，３５を陰極として電流を流し不純物濃度変化層２１を多孔質化する。これは、伊藤らによる表面技術Ｖｏｌ．４６，Ｎｏ５，ｐ．８－１３，１９９５〔多孔質シリコンの陽極化成〕に示された方法である。電解液としては、例えば、フッ化水素とエチルアルコールとの混合液を用いる。

【００４６】この陽極化成では、多孔質層１２を形成する層における不純物濃度や流す電流の電流密度や電解液の濃度（例えばフッ化水素の濃度）などにより、多孔率が決定される。例えば、不純物濃度が低いと多孔率が高くなり、不純物濃度が高いと多孔率が低くなる。また、電流密度が大きいと多孔率が高くなり、電流密度が小さいと多孔率が低くなる。ここでは、不純物濃度変化層２１が不純物濃度の異なる低濃度層２１ａと高濃度層２１ｂとにより構成されているので、電流密度を小さく、処理時間を短くしても、あるいはフッ化水素の濃度を高くしても、低濃度層２１ａにおいては多孔率が高い高多孔質層１２ａが形成され、高濃度層２１ｂにおいては多孔率が低い低多孔質層１２ｂが形成される。なお、この陽極化成では、多孔質層１２の積層方向に伸びる細長い孔が形成される。

【００４７】また、この陽極化成では、支持基板１１にｐ型半導体よりなるものを用いた場合など、不純物濃度変化層２１に加えて、支持基板１１の不純物濃度変化層２１側の一部が多孔質化される場合もある。一方、この陽極化成では、不純物濃度変化層２１の厚さ方向について全体を多孔質化する必要はなく、一部のみを多孔質化するようにしてもよい。

【００４８】多孔質層１２を形成したのち、例えば水素（H_2）雰囲気中において加熱（例えば１０８０℃）し、多孔質層１２を再結晶化させる（加熱工程）。これにより、低多孔質層１２ｂでは微細孔が複数形成され、表面が滑らかとなる。ここでは、低多孔質層１２ｂの不純物濃度が高くなっているので、再結晶化が起こりやすくなっている。これに対し、高多孔質層１２ａでは支持基板１１の表面とほぼ平行な方向に伸びる空洞が形成され、強度が弱くなる。

【００４９】そののち、図６（ｃ）に示したように、多孔質層１２の上に、例えばＣＶＤ法により半導体薄膜（例えば単結晶シリコンよりなる半導体薄膜）１３をエピタキシャル成長させる（半導体薄膜形成工程）。これにより半導体基板が形成される。

【００５０】このようにして半導体基板を形成したのち、半導体薄膜１３の表面に適宜な接着基板１５を適宜の接着層１４により張り付け、支持基板１１と半導体薄膜１３とを互いに反対側に引っ張るように外力を加え、高多孔質層１２ａにおいてそれらを分離する（分離工程）。これにより、図５に示したような薄膜半導体部材が形成される。

【００５１】また、本実施の形態に係る半導体基板および薄膜半導体部材は、次のようにしても製造することができる。

【００５２】図１２はその各製造工程を表すものである。まず、図１２（ａ）に示したように、先の製造方法と同様にして基板本体１１を用意する。次いで、同じく図１２（ａ）に示したように、この基板本体１１の一面側に、$1\times10^{18}cm^{-3}$以上（好ましくは$1\times10^{19}cm^{-3}$以上）の不純物を含む半導体よりなる不純物高含有層２２を形成する。この不純物高含有層２２は後に多孔質層１２となるものである。不純物濃度変化層の形成に際しては、ＣＶＤ法などにより成長層としてエピタキシャル成長させてもよく、不純物を拡散することにより拡散層として形成してもよい。但し、成長層としてエピタキシャル成長させる方が、不純物濃度を容易に高くすることができるので好ましい。

【００５３】続いて、図１２（ｂ）に示したように、先の製造方法と同様にして陽極化成を行い、不純物高含有層２２を多孔質化して多孔質層１２（例えば高多孔質層１２ａと低多孔質層１２ｂ）を形成する（多孔質層形成工程）。ここでは、不純物高含有層２２の不純物濃度が$1\times10^{18}cm^{-3}$以上と高くなっているので、抵抗が低く多孔質化されやすく、電流密度の差を小さくしても高多孔質層１２ａと低多孔質層１２ｂとが形成される。また、短い処理時間で、電解液におけるフッ化水素の濃度が高くても多孔質化される。なお、この多孔質層形成工程では、不純物高含有層２２の厚さ方向について全体を多孔質化する必要はなく、図１２（ｂ）に示したように、一部のみを多孔質化してもよい。

【００５４】多孔質層１２を形成したのち、先の製造方法と同様にして、例えば水素雰囲気中において加熱し、多孔質層１２を再結晶化させる（加熱工程）。これにより、低多孔質層１２ｂでは微細孔が複数形成され、表面が滑らかとなる。ここでは、不純物濃度が高くなっているので、再結晶化が起こりやすくなっている。これに対し、高多孔質層１２ａでは支持基板１１の表面とほぼ平行な方向に伸びる空洞が形成され、強度が弱くなる。

【００５５】そののち、図１２（ｃ）に示したように、先の製造方法と同様にして、多孔質層１２の上に半導体薄膜１３を形成する（半導体薄膜形成工程）。これにより半導体基板が形成される。このようにして半導体基板を形成したのち、先の製造方法と同様にして、半導体薄膜１３の表面に適宜な接着基板１５を適宜の接着層１４により張り付け、高多孔質層１２ａにおいて分離する（分離工程）。これにより、図５に示したような薄膜半導体部材が形成される。

【００５６】このように本実施の形態に係る半導体基板によれば、高多孔質層１２ａの不純物濃度を低くするようにしたので、陽極化成によって多孔質化を行う場合に小さい電流密度で多孔率を高くすることができる。よって、大きな電流密度の電流を流すことにより生ずる多孔質層１２の歪みを削減することができ、半導体薄膜１３の結晶性を向上させることができる。また、電流密度を小さくすることにより表面平行面内における電流密度を均一とすることができ、高多孔質層１２ａの表面平行面内における多孔率の均一性を向上させることができる。従って、高多孔質層１２ａにおいて半導体薄膜１３と支持基板１１とを容易に分離することができる。

【００５７】また、本実施の形態に係る半導体基板によれば、多孔質層１２の不純物濃度を$1\times10^{18}cm^{-3}$以上とするようにしたので、陽極化成によって多孔質化を行う場合に電流密度の変化量を小さくし電流密度を小さくしても高多孔質層１２ａと低多孔質層１２ｂとを形成することができる。よって、上述と同様の効果を得ることができる。

【００５８】更に、低多孔質層１２ｂあるいは多孔質層１２の不純物濃度を高くするようにしたので、多孔質化した後の加熱により再結晶化が起こりやすく、表面を容易に滑らかにすることができる。よって、結晶性に優れた半導体薄膜１３を得ることができる。

【００５９】加えて、エピタキシャル成長させた成長層を多孔質化することにより多孔質層１２を構成するようにしたので、不純物濃度を容易に高くすることができると共に、表面平行面内における不純物濃度を容易に均一とすることができ、多孔率を容易に均一とすることができる。

【００６０】更にまた、半導体薄膜１３が凹凸を有するように構成すれば、この半導体薄膜１３を薄膜半導体部材として太陽電池に用いた場合には、太陽電池の発電効率を向上させることができる。

【００６１】本実施の形態に係る薄膜半導体部材によれば、本実施の形態に係る半導体基板の半導体薄膜１３を多孔質層１２において支持基板１１から分離したものであるので、本実施の形態に係る半導体基板と同様に、結晶性を向上させることができる。また、凹凸を有するように構成すれば、太陽電池に用いた場合にその発電効率を向上させることもできる。

【００６２】本実施の形態に係る半導体基板の製造方法によれば、不純物濃度が低い低濃度層２１ａを形成するようにしたので、小さい電流密度で陽極化成を行っても多孔率が高い高多孔質層１２ａを形成することができる。よって、陽極化成における電流密度を小さくすることができ、半導体薄膜１３の結晶性を向上させることができると共に、多孔質層１２の表面平行面内における多孔率を均一とすることができる。また、電流電源の容量を小さくすることができ、製造コストを低減することができる。

【００６３】更に、不純物濃度が低い低濃度層２１ａを形成するようにしたので、陽極化成の時間を短くしても多孔率が高い高多孔質層１２ａを形成することができる。よって、陽極化成における処理時間を短くすることができ、製造効率を向上させることができる。加えて、陽極化成の際に電解溶液におけるフッ化水素の濃度を高くしても多孔率が高い高多孔質層１２ａを形成することができる。よって、比較的安価であるフッ化水素の使用量を増やすことができ、製造コストを低減することができる。

【００６４】更にまた、低濃度層２１ａをエピタキシャル成長させることにより形成するようにすれば、表面平行面内における不純物濃度を均一とすることができ、表面平行面内における多孔率の均一性を向上させることができる。

【００６５】加えてまた、不純物濃度が高い高濃度層２１ｂを形成するようにしたので、陽極化成により多孔率が低い低多孔質層１２ａを形成することができると共に、加熱により容易に再結晶化させることができ、表面を容易に滑らかとすることができる。よって、半導体薄膜１３の結晶性を向上させることができる。

【００６６】本実施の形態に係る他の半導体基板の製造方法によれば、$1\times10^{18}cm^{-3}$以上の不純物を含む不純物高含有層２２を形成するようにしたので、陽極化成の際の電流密度の変化量を小さくしても高多孔質層１２ａと低多孔質層１２ｂとを形成することができ、陽極化成における電流密度を小さくすることができる。また、低多孔質層１２ｂを加熱により容易に再結晶化させることができる。よって、上述と同様の効果を得ることができる。

【００６７】更に、不純物高含有層２２をエピタキシャル成長させることにより形成するようにすれば、容易に不純物の濃度を高くすることができ、本実施の形態に係る半導体基板を容易に実現することができる。

【００６８】なお、本実施の形態に係る半導体基板の製造方法および他の半導体基板の製造方法において、表面に凹凸を有する支持基板１１を用い、その凹凸面上に多孔質層１２を介して半導体薄膜１３を形成するようにすれば、凹凸を有する半導体薄膜１３を容易に形成することができ、太陽電池に用いた場合にその発電効率を高めることができる半導体薄膜１３を容易に得ることができる。

【００６９】本実施の形態に係る薄膜半導体部材の製造方法および他の薄膜半導体部材の製造方法によれば、本実施の形態に係る半導体基板の製造方法あるいは他の半導体基板の製造方法を用いているので、本実施の形態に係る半導体基板の製造方法あるいは他の半導体基板の製造方法と同様の効果を有する。

【００７０】

【実施例】更に、具体的な実施例を挙げて本発明を説明する。なお、以下の実施例においては、上記実施の形態と同一の構成要素には同一の符号を付して説明する。

【００７１】（第１の実施例）図１３は本発明の第１の実施例を説明するための図である。本実施例では、まず、図１３（ａ）に示したように、ボロンを高濃度に添加したＣＺ（Czochralski ）法によるｐ型シリコン単結晶（抵抗率は０．０１～０．０２Ωｃｍ）の支持基板１１を用意し、その一面（１００面）側に、シランガス（SiH_4）を原料ガスとして用いたＣＶＤ法により、ボロンを$8\times10^{14}cm^{-3}$の濃度で添加した単結晶のシリコンよりなる低濃度層２１ａを約１．３μｍの厚さでエピタキシャル成長させた。

【００７２】次いで、図１３（ｂ）に示したように、低濃度層２１ａの表面に、同じくシランガスを用いたＣＶＤ法により、ボロンを$3\times10^{19}cm^{-3}$の濃度で添加した単結晶のシリコンよりなる高濃度層２１ｂを約３．８μｍの厚さでエピタキシャル成長させた（以上、不純物濃度変化層形成工程）。

【００７３】続いて、図１３（ｃ）～（ｅ）に示したように、電流密度を変化させて陽極化成を行い、高多孔質層１２ａおよび低多孔質層１２ｂをそれぞれ形成した（多孔質層形成工程）。

【００７４】ここで、陽極化成は上記実施の形態で説明した方法と同様にして行った。なお、電解液には５０％のフッ化水素溶液とエチルアルコールとを１：１の体積割合で混合した混合液を用いた。また、電流は、まず$1mAcm^{-2}$の電流密度で８分間流して高濃度層２１ｂの表面側一部を低多孔質層１２ｂとし（図１３（ｃ））、次に$7mAcm^{-2}$の電流密度で８分間流して高濃度層２１ｂの内部側も低多孔質層２ｂとし（図１３（ｄ））、更に$30mAcm^{-2}$の電流密度で１分間流して低濃度層２１ａを高多孔質層１２ａとすると共に、支持基板１１の低濃度層２１ａ側の一部を低多孔質層１２ｂとした（図１３（ｅ））。

【００７５】このようにして多孔質層１２を形成したのち、常圧エピタキシャル成長装置を用い、水素雰囲気中で１０８０℃に加熱した（加熱工程）。室温から１０８０℃までの昇温は約２０分間で行い、１０８０℃では約４０分間保持した。これにより、多孔質層１２においては再結晶化が起こり、低多孔質層１２ｂの表面は滑らかとなり、高多孔質層１２ａの強度はいっそう弱まった。

【００７６】そののち、図１３（ｆ）に示したように、１０２０℃まで降温し、シランガスを原料ガスとして用いたＣＶＤを２０分間行うとにより、多孔質層１２の表面に、単結晶のシリコンよりなる半導体薄膜１３を約５μｍの厚さでエピタキシャル成長させた（半導体薄膜形成工程）。これにより半導体基板が形成された。

【００７７】このようにして形成した半導体基板の断面を劈開し、走査電子顕微鏡（ＳＥＭ；Scanning Electron Microscope）により観察した。その断面構造を概念的に図１１に示す。

【００７８】図１４に示したように、多孔質層１２のうち高濃度層２１ｂを形成した領域は、多孔率が低い低多孔質層１２ｂとなっており、加熱工程により再結晶化されたメッシュ構造となっていた。低濃度層２１ａを形成した領域は、多孔率が高い高多孔質層１２ａとなっており、表面平行面と平行な方向に広がる平らな空洞が形成され、ところどころに支持基板１１側と低多孔質層１２ｂ側とを接続する柱状の結晶が形成されていた。支持基板１１の高多孔質層１２ａ側に隣接した領域は、ほとんど完全に再結晶化されており、わずかに微細孔が形成されている低多孔質層１２ｂとなっていた。

【００７９】なお、形成した半導体基板について、半導体薄膜１３の表面に光硬化性の樹脂接着剤よりなる接着層１４を介してＰＥＴよりなる接着基板１５を張りつけ、支持基板１１と接着基板１５とを互いに反対側に引っ張るように外力を加え高多孔質層１２ａにおいて分離した（分離工程；図５参照）。これにより、半導体薄膜１３と支持基板１１とは容易に分離され、薄膜半導体部材が形成された。

【００８０】このように本実施例によれば、低濃度層２１ａを形成することにより小さい電流密度で陽極化成を行っても多孔率が高い高多孔質層１２ａを形成することができ、高多孔質層１２ａにおいて容易に分離することができることが分かった。また、高濃度層２１ｂを形成することにより、多孔率が低い低多孔質層１２ｂを形成することができ、加熱処理による再結晶化によりその表面を滑らかにすることができることが分かった。

【００８１】（第２の実施例）図１５は本発明の第２の実施例を説明するための図である。本実施例では、まず、図１５（ａ）に示したように、第１の実施例と同一の支持基板１１を用意し、その一面側に、シランガスを原料ガスとして用いたＣＶＤ法により、ボロンを$2.0\times10^{19}cm^{-3}$の濃度で添加した単結晶のシリコンよりなる高濃度層２１ｂを約１０μｍの厚さでエピタキシャル成長させた。

【００８２】次いで、同じく図１５（ａ）に示したように、この高濃度層２１ｂの表面に、シランガスを用いたＣＶＤ法により、ボロンを$8\times10^{14}cm^{-3}$の濃度で添加した単結晶のシリコンよりなる低濃度層２１ａを約１．３μｍの厚さでエピタキシャル成長させた。

【００８３】続いて、同じく図１５（ａ）に示したように、この低濃度層２１ａの表面に、シランガスを用いたＣＶＤ法により、ボロンを$3\times10^{19}cm^{-3}$の濃度で添加した単結晶のシリコンよりなる高濃度層２１ｂを約３．７μｍの厚さでエピタキシャル成長させた（以上、不純物濃度変化層形成工程）。

【００８４】低濃度層２１ａおよび高濃度層２１ｂをそれぞれ形成したのち、図１５（ｂ）に示したように、陽

極化成を行い、高多孔質層１２ａおよび低多孔質層１２ｂをそれぞれ形成した（多孔質層形成工程）。ここで、陽極化成は上記実施の形態で説明した方法と同様にして行った。なお、電解液には５０％のフッ化水素溶液とエチルアルコールとを２：１の体積割合で混合した混合液を用いた。また、電流は、１０ｍＡｃｍ$^{-2}$の電流密度で５分間流した。これにより、高濃度層２１ｂは多孔率が低い低多孔質層１２ｂとなり、低濃度層２１ａは多孔率が高い高多孔質層１２ａとなった。

【００８５】このようにして多孔質層１２を形成したのち、第１の実施例と同様にして加熱した（加熱工程）。そののち、図１５（ｃ）に示したように、第１の実施例と同様にして、多孔質層１２の表面に単結晶のシリコンよりなる半導体薄膜１３を約５μｍの厚さでエピタキシャル成長させた（半導体薄膜形成工程）。これにより半導体基板が形成された。

【００８６】このようにして形成した半導体基板の断面を劈開し、ＳＥＭにより観察した。その断面構造を概念的に図１６に示す。図１６に示したように、多孔質層１２のうち半導体薄膜１３側の高濃度層２１ｂを形成した領域は、多孔率が低い低多孔質層１２ｂとなっており、加熱工程により再結晶化されほぼ球状の微細孔が複数形成されたたメッシュ構造となっていた。低濃度層２１ａを形成した領域は、多孔率が高い高多孔質層１２ａとなっており、表面平行面と平行な方向に広がる平らな空洞が形成され、ところどころに支持基板１１側と低多孔質層１２ｂ側とを接続する柱状の結晶が形成されていた。支持基板１１側の高濃度層２１ｂを形成した領域は、ほとんど完全に再結晶化されており、わずかに微細孔が形成されている低多孔質層１２ｂとなっていた。

【００８７】なお、形成した半導体基板について、第１の実施例と同様にして半導体薄膜１３を支持基板１１から分離した（分離工程）。半導体薄膜１３は高多孔質層１２ａにおいて容易に分離され、薄膜半導体部材が形成された。

【００８８】このように本実施例によれば、低濃度層２１ａを形成することにより、小さい電流密度で処理時間を短くしかつ電解液のフッ化水素濃度を高くして陽極化成を行っても多孔率が高い高多孔質層１２ａを形成することができ、この高多孔質層１２ａにおいて容易に分離することができることが分かった。また、第１の実施例と同様に、高濃度層２１ｂを形成することにより、多孔率が低い低多孔質層１２ｂを形成することができ、加熱処理による再結晶化によりその表面を滑らかにすることができることも分かった。

【００８９】（第３の実施例）図１７は本発明の第３の実施例を説明するための図である。本実施例では、まず、図１７（ａ）に示したように、第１の実施例と同一の支持基板１１を用意し、その一面側に、シランガスを原料ガスとして用いたＣＶＤ法により、ボロンを３．０×１０^{19}ｃｍ$^{-3}$の濃度で添加した単結晶のシリコンよりなる高濃度層２１ｂを約３．７μｍの厚さでエピタキシャル成長させた（不純物濃度変化層形成工程）。なお、本実施例では、支持基板１１のうち高濃度層２１ｂ側の一部を低濃度層２１ａとみなして、支持基板１１の一部と高濃度層２１ｂとで不純物濃度変化層とした。

【００９０】次いで、図１７（ｂ）に示したように、陽極化成を行い、高多孔質層１２ａおよび低多孔質層１２ｂをそれぞれ形成した（多孔質層形成工程）。ここで、陽極化成は上記実施の形態で説明した方法と同様にして行い、陽極化成の条件は第２の実施例と同様にした。これにより、高濃度層２１ｂは多孔率が低い低多孔質層１２ｂとなり、低濃度層２１ａ（すなわち支持基板１１の一部）は多孔率が高い高多孔質層１２ａとなった。

【００９１】続いて、第１の実施例と同様にして加熱し（加熱工程）、図１７（ｃ）に示したように、第１の実施例と同様にして多孔質層１２の表面に、単結晶のシリコンよりなる半導体薄膜１３を約５μｍの厚さでエピタキシャル成長させた（半導体薄膜形成工程）。これにより半導体基板が形成された。

【００９２】このようにして形成した半導体基板の断面を劈開し、ＳＥＭにより観察した。その断面構造を概念的に図１８に示す。図１８に示したように、多孔質層１２のうち高濃度層２１ｂを形成した領域は、多孔率が低い低多孔質層１２ｂとなっており、加熱工程により再結晶化されほぼ球状の微細孔が複数形成されたたメッシュ構造となっていた。低濃度層２１ａに該当する領域（支持基板１１の高濃度層２１ｂ近傍）は、多孔率が高い高多孔質層１２ａとなっており、表面平行面と平行な方向に広がる平らな空洞が形成され、ところどころに支持基板１１側と低多孔質層１２ｂ側とを接続する柱状の結晶が形成されていた。

【００９３】なお、形成した半導体基板について、第１の実施例と同様にして半導体薄膜１３を支持基板１１から分離した（分離工程）。半導体薄膜１３は高多孔質層１２ａにおいて容易に分離され、薄膜半導体部材が形成された。

【００９４】このように本実施例によっても、上記第１および第２の実施例と同様の効果を得ることができることが分かった。

【００９５】（第４の実施例）本実施例では図１２を参照して説明する。まず、第１の実施例と同一の支持基板１１を用意し、その一面側に、シランガスを原料ガスとして用いたＣＶＤ法により、ボロンを添加した単結晶のシリコンよりなる不純物高含有層２２を約１４μｍの厚さでエピタキシャル成長させた（不純物濃度変化層形成工程；図１２（ａ）参照）。なお、不純物高含有層２２におけるボロンの濃度は、１．０×１０^{19}ｃｍ$^{-3}$，１．３×１０^{19}ｃｍ$^{-3}$，１．５×１０^{19}ｃｍ$^{-3}$，１．７×１０^{19}ｃｍ$^{-3}$または２．０×１０^{19}ｃｍ$^{-3}$とし、それぞれ

について支持基板１１を用意した。

【００９６】次いで、電流密度を変化させて陽極化成をそれぞれ行い、高多孔質層１２ａおよび低多孔質層１２ｂをそれぞれ形成した（多孔質層形成工程；図１２（ｂ）参照）。ここで、陽極化成は上記実施の形態で説明した方法と同様にして行った。なお、電解液には５０％のフッ化水素溶液とエチルアルコールとを１：１の体積割合で混合した混合液を用いた。また、電流は、まず１ｍＡｃｍ$^{-2}$の電流密度で８分間流して不純物高含有層２２の表面側一部を低多孔質層１２ｂとし、次に７ｍＡｃｍ$^{-2}$の電流密度で８分間流して不純物高含有層２２の内部側も低多孔質層２ｂとし、更に１２０ｍＡｃｍ$^{-2}$の電流密度で４秒間流して不純物高含有層２２の内部一部を高多孔質層１２ａとした。

【００９７】続いて、第１の実施例と同様にしてそれぞれ加熱し（加熱工程）、第１の実施例と同様にして多孔質層１２の表面に単結晶のシリコンよりなる半導体薄膜１３を約５μｍの厚さでそれぞれエピタキシャル成長させた（半導体薄膜形成工程；図１２（ｃ）参照）。これにより半導体基板が形成された。

【００９８】このようにして形成した５種類の半導体基板の断面を劈開し、ＳＥＭにより観察した。そのうち、不純物高含有層２２の不純物濃度を１．０×１０^{19}ｃｍ$^{-3}$とした半導体基板の断面構造を図１９に、１．５×１０^{19}ｃｍ$^{-3}$とした半導体基板の断面構造を図２０に、２．０×１０^{19}ｃｍ$^{-3}$とした半導体基板の断面構造を図２１にそれぞれ示す。

【００９９】各半導体基板は、図１９乃至図２１に示したように、不純物高含有層２２の内部に空洞が表面平行面と平行方向に広がった高多孔質層１２ａがそれぞれ形成されており、高多孔質層１２ａよりも半導体薄膜１３側に再結晶化されたメッシュ構造を有する低多孔質層１２ｂがそれぞれ形成されていた。但し、不純物高含有層２２の不純物濃度を１．０×１０^{19}ｃｍ$^{-3}$としたものは、図１９に示したように、低多孔質層１２ｂの全体がほぼ球状の微細孔よりなるメッシュ構造となっていた。これに対して、不純物高含有層２２の不純物濃度を１．５×１０^{19}ｃｍ$^{-3}$としたものは、図２０に示したように、低多孔質層１２ｂのうち半導体薄膜１３近傍のみがほぼ球状の微細孔よりなるメッシュ構造となっており、高多孔質層１２ａの近傍は微細孔がほとんどなくほぼ再結晶化されていた。また、不純物高含有層２２の不純物濃度を２．０×１０^{19}ｃｍ$^{-3}$としたものは、図２１に示したように、低多孔質層１２ｂを構成する微細孔がほぼ球状ではなく楕円形状であった。

【０１００】ちなみに、不純物高含有層２２の不純物濃度を１．３×１０^{19}ｃｍ$^{-3}$としたもの、および１．７×１０^{19}ｃｍ$^{-3}$としたものについては図示しないが、１．３×１０^{19}ｃｍ$^{-3}$としたものは１．０×１０^{19}ｃｍ$^{-3}$としたもの（図１９参照）と１．５×１０^{19}ｃｍ$^{-3}$（図２０参照）の間の状態であり、１．７×１０^{19}ｃｍ$^{-3}$としたものは１．５×１０^{19}ｃｍ$^{-3}$としたもの（図２０参照）と２．０×１０^{19}ｃｍ$^{-3}$（図２１参照）の間の状態であった。

【０１０１】なお、形成した各半導体基板について、第１の実施例と同様にして半導体薄膜１３を支持基板１１から分離した（分離工程）。半導体薄膜１３は高多孔質層１２ａにおいて容易に分離され、薄膜半導体部材が形成された。

【０１０２】このように本実施例によれば、不純物高含有層２２を形成することにより電流密度の変化量を小さくして電流密度を小さくしても高多孔質層１２ａと低多孔質層１２ｂとを形成することができ、高多孔質層１２ａにおいて容易に分離することができることが分かった。また、加熱処理による再結晶化によりその多孔質層１２の表面を滑らかにすることができることが分かった。

【０１０３】以上、実施の形態および各実施例を挙げて本発明を説明したが、本発明はこれらの実施の形態および各実施例に限定されるものではなく、種々変形可能である。例えば、上記実施の形態および各実施例においては、多孔質層１２を陽極化成によって形成する場合の具体的な例を挙げて説明したが、本発明は、他の陽極化成によっても形成することができる。

【０１０４】また、上記実施の形態および第１乃至第３の実施例においては、多孔質層１２を不純物濃度が異なる複数の層（高多孔質層１２ａおよび低多孔質層１２ｂ）により構成するようにしたが、厚さ方向において不純物濃度が連続的に変化するように構成してもよい。

【０１０５】

【発明の効果】以上説明したように本発明の半導体基板によれば、多孔質層が厚さ方向において不純物濃度に変化を有するようにしたので、陽極化成によって多孔質化を行う場合に、小さい電流密度でも多孔質層の厚さ方向における多孔率を変化させることができる。よって、大きな電流密度の電流を流すことにより生ずる多孔質層の歪みを削減することができ、その表面に形成される半導体薄膜の結晶性を向上させることができるという効果を奏する。また、電流密度を小さくすることにより表面平行面内における電流密度を均一とすることができるので、表面平行面内における多孔率の均一性を向上させることができる。従って、多孔質層において容易に分離することができるという効果も奏する。

【０１０６】更に、不純物濃度が高い領域は加熱により再結晶化が起こりやすく、表面近傍の不純物濃度を高くすれば表面を容易に滑らかとすることができる。よって、表面に形成される半導体薄膜の結晶性を向上させることができるという効果も奏する。

【０１０７】本発明の他の半導体基板によれば、多孔質層が１×１０^{18}ｃｍ$^{-3}$以上の不純物を含むようにしたの

で、陽極化成によって多孔質化を行う場合に電流密度の変化量を小さくし電流密度を小さくしても多孔質層の厚さ方向における多孔率を変化させることができる。また、加熱により再結晶化が起こりやすく、表面を容易に滑らかとすることができる。よって、上述と同様の効果を奏する。

【０１０８】本発明のその他の半導体基板によれば、エピタキシャル成長させた成長層を多孔質化した多孔質層を備えるようにしたので、表面平行面内における多孔率を均一とすることができ、あるいは多孔質層の不純物濃度を容易に高くすることができる。よって、本発明の半導体基板を容易に実現することができる。

【０１０９】本発明の薄膜半導体部材によれば、本発明の多孔質層を介して支持基板の一面側に形成されるようにしたので、結晶性を向上させることができるという効果を奏する。また、凹凸を有するように構成すれば、太陽電池として用いた場合にその発電効率を向上させることもできる。

【０１１０】本発明の半導体基板の製造方法によれば、厚さ方向において不純物濃度に変化を有する不純物濃度変化層を形成するようにしたので、小さい電流密度で陽極化成を行っても多孔質層の多孔率を厚さ方向において変化させることができる。よって、陽極化成における電流密度を小さくすることができ、多孔質層の表面に形成する半導体薄膜の結晶性を向上させることができると共に、多孔質層の表面平行面内における多孔率を均一とすることができるという効果を奏する。また、電流電源の容量を小さくすることができ、製造コストを低減することができるという効果も奏する。

【０１１１】更に、陽極化成の時間を短くしても多孔質層の多孔率を厚さ方向において変化させることができる。よって、陽極化成における処理時間を短くすることができ、製造効率を向上させることができるという効果も奏する。加えて、陽極化成の際に電解溶液におけるフッ化水素の濃度を高くしても多孔質層の多孔率を厚さ方向において変化させることができる。よって、比較的安価であるフッ化水素の使用量を増やすことができ、製造コストを低減することができるという効果も奏する。

【０１１２】更にまた、不純物濃度が高い領域は加熱により容易に再結晶化させることができるので、表面近傍の不純物濃度を高くすれば表面を容易に滑らかとすることができる。よって、その上に形成する半導体薄膜の結晶性を向上させることができるという効果も奏する。

【０１１３】加えてまた、不純物濃度変化層を成長させることにより形成するようにすれば、表面平行面内における不純物濃度を容易に均一とすることができ、多孔質層の表面平行面内における多孔率の均一性を向上させることができるという効果も奏する。

【０１１４】更にまた、表面に凹凸を有する支持基板を用いれば、多孔質層の表面に凹凸を有する半導体薄膜を容易に形成することができ、太陽電池として用いた場合にその発電効率を高めることができる半導体薄膜を容易に得ることができるという効果も奏する。

【０１１５】本発明の他の半導体基板の製造方法によれば、$1\times10^{18}\,cm^{-3}$以上の不純物を含む不純物高含有層を形成するようにしたので、陽極化成の際の電流密度の変化量を小さくしても多孔質の厚さ方向における多孔率を容易に変化させることができ、陽極化成における電流密度を小さくすることができる。また、多孔質化層を容易に再結晶化させることができる。よって、上述と同様の効果を奏する。

【０１１６】更に、不純物高含有層をエピタキシャル成長させることにより形成するようにすれば、容易に不純物の濃度を高くすることができ、本実施の形態に係る半導体基板を容易に実現することができるという効果も奏する。

【０１１７】本発明の薄膜半導体部材の製造方法によれば、本発明の半導体基板の製造方法を用いているので、本発明の半導体基板の製造方法と同様の効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明の一実施の形態に係る半導体基板の構成を表す断面図である。

【図２】図１に示した半導体基板の変形例を表す断面図である。

【図３】図１に示した半導体基板の変形例を表す平面図である。

【図４】図１に示した半導体基板の他の変形例を表す断面図である。

【図５】本発明の一実施の形態に係る薄膜半導体部材の構成を表す断面図である。

【図６】図１に示した半導体基板の製造方法を説明するための各製造工程図である。

【図７】図６に示した半導体基板の製造方法における不純物濃度変化層形成工程を説明するための各製造工程図である。

【図８】図６に示した半導体基板の製造方法における不純物濃度変化層形成工程を説明するための他の各製造工程図である。

【図９】図６に示した半導体基板の製造方法における他の不純物濃度変化層形成工程を説明するための製造工程図である。

【図１０】図６に示した半導体基板の製造方法におけるその他の不純物濃度変化層形成工程を説明するための製造工程図である。

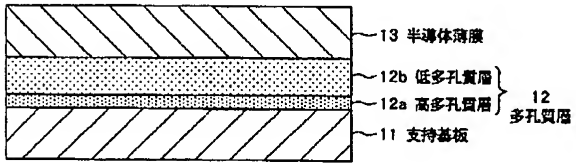
【図１１】図６に示した半導体基板の製造方法における多孔質層形成工程に用いる陽極化成装置の構成を表す断面図である。

【図１２】図１に示した半導体基板の他の製造方法を説明するための各製造工程図である。

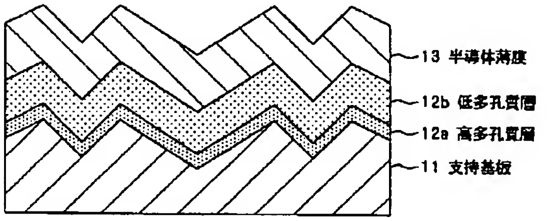
【図１３】本発明の第１の実施例を説明するための断面

図である。
【図１４】図１０に示した半導体基板における多孔質層の状態を説明するための概念図である。
【図１５】本発明の第２の実施例を説明するための断面図である。
【図１６】図１２に示した半導体基板における多孔質層の状態を説明するための概念図である。
【図１７】本発明の第３の実施例を説明するための断面図である。
【図１８】図１７に示した半導体基板における多孔質層の状態を説明するための概念図である。
【図１９】本発明の第４の実施例における多孔質層の状態を説明するための概念図である。
【図２０】本発明の第４の実施例における他の多孔質層の状態を説明するための概念図である。
【図２１】本発明の第４の実施例におけるその他の多孔質層の状態を説明するための概念図である。
【符号の説明】
１１…支持基板、１２…多孔質層、１２ａ…高多孔質層、１２ｂ…低多孔質層、１３…半導体薄膜（薄膜半導体部材）、１４…接着層、１５…接着基板、２１…不純物濃度変化層、２１ａ…低濃度層、２１ｂ…高濃度層、２２…不純物高含有層、３１，３２…電解液槽、３３…直流電源、３４，３５…白金電極

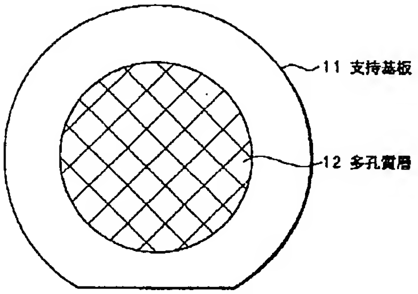
【図１】



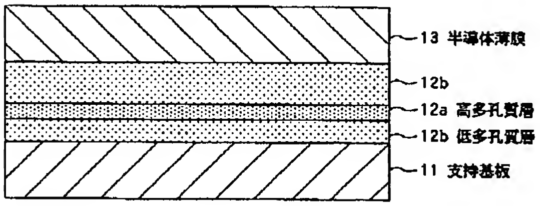
【図２】



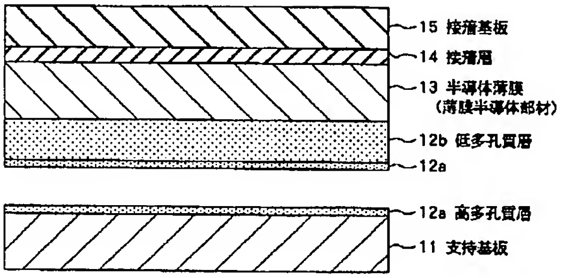
【図３】



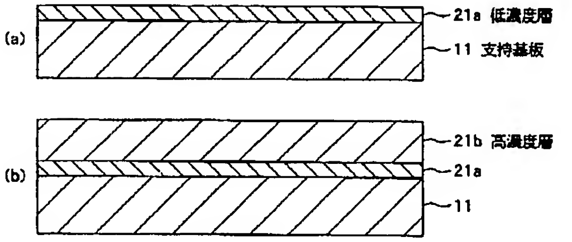
【図４】



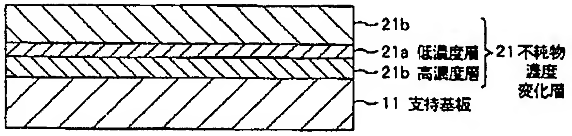
【図５】



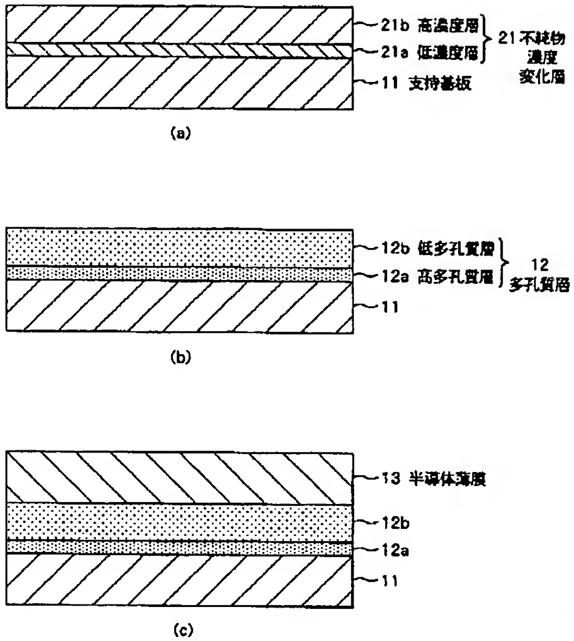
【図７】



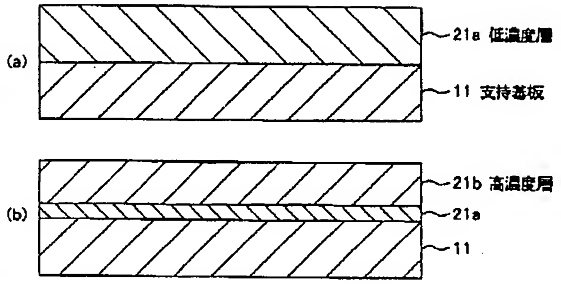
【図９】



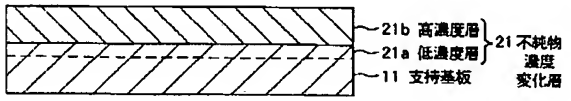
【図６】



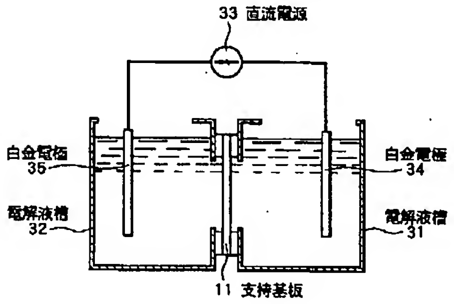
【図８】



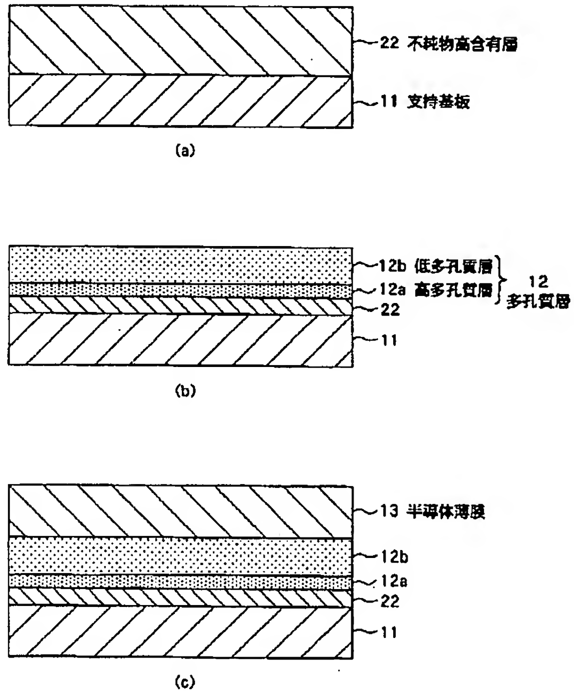
【図１０】



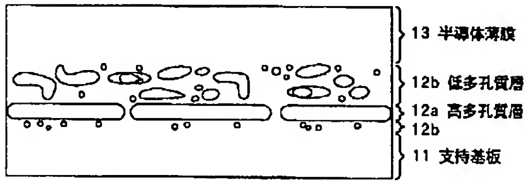
【図１１】



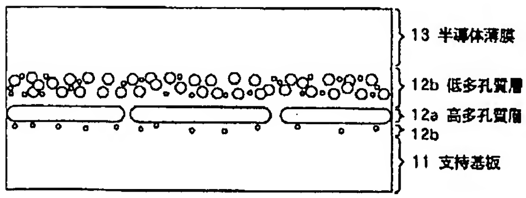
【図１２】



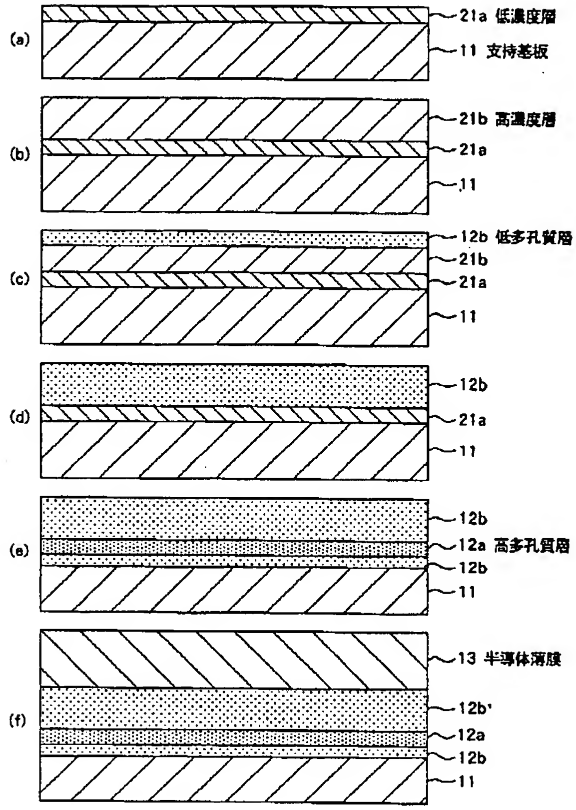
【図１４】



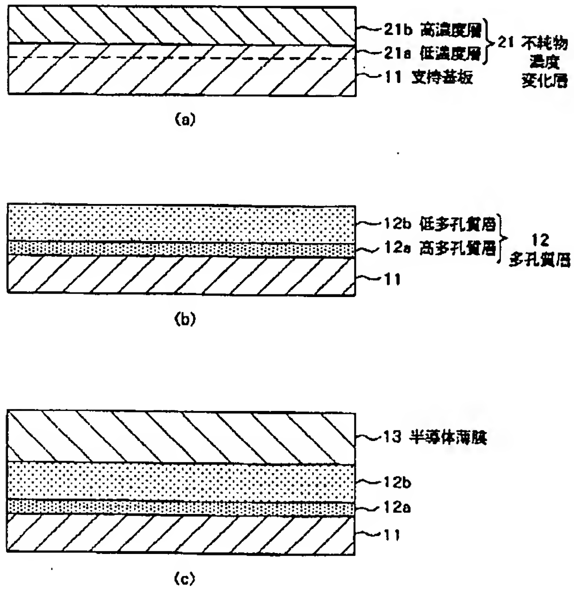
【図１６】



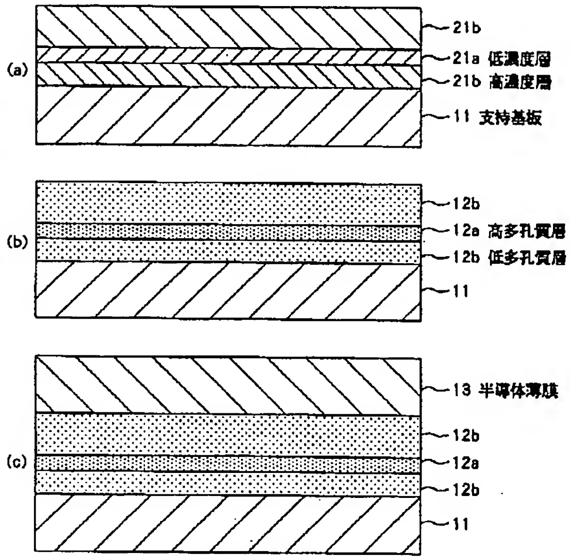
【図１３】



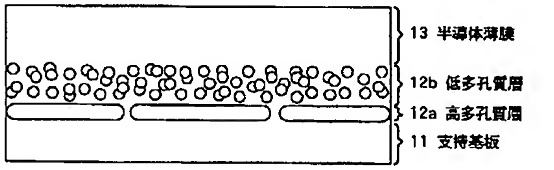
【図１７】



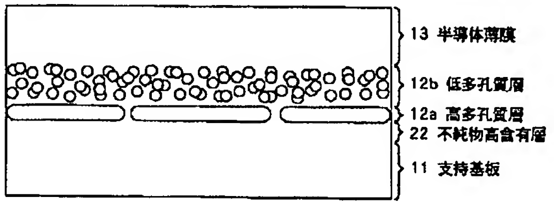
【図１５】



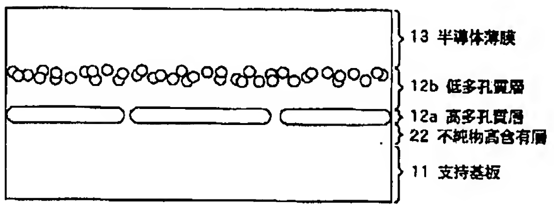
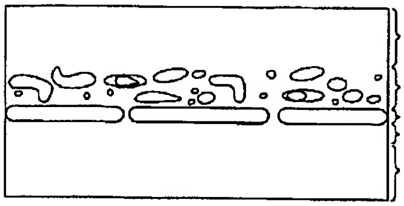
【図１８】



【図１９】



【図２０】



【図２１】